

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh solární soustavy a solárního kolektoru

Design of Solar System and Solar Collector

Student:

Bc. Miroslav Charvát

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Miroslav Charvát**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Návrh solární soustavy a solárního kolektoru**
Design of Solar System and Solar Collector
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhněte způsob přípravy teplé vody (TV) pro rodinný dům obydlený celoročně 5 osobami s využitím solární soustavy typu Drain Back. Technická dokumentace bude obsahovat:

- 1) stanovení množství tepla pro přípravu TV a rozložení spotřeby v průběhu roku,
- 2) návrh solárního kolektoru, tepelné výpočty,
- 3) návrh solární soustavy, kapacitní a bilanční výpočty s posouzením varianty systému pouze pro přípravu TV a systému s možností přitápění,
- 4) stanovení environmentálního přínosu, ekonomické zhodnocení, výběr zvolené varianty,
- 5) výkresovou dokumentaci s koncepčním návrhem systému a konstrukčním návrhem kolektoru.

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ, J., VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.
CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*. Praha: Malina, 1994. 203 s. ISBN 80-900759-5-9.
MORAN, M. J., SHAPIRO, H. N. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. 2. vyd. New York: John Wiley & Sons Inc., 1992. 844 s. ISBN 0470030372.
MATUŠKA, T. *Solární tepelné soustavy*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. 194 s. ISBN 978-80-02-02186-5.

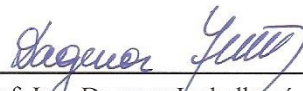
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16.5.2016

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, же оdevздáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 16.5.2016

.....
.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Miroslav Charvát

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Nábřeží 1629 Napajedla, 763 61

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

CHARVÁT, M. *Návrh solární soustavy a solárního kolektoru: diplomová práce.*
Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky,
2016, 61s. Vedoucí práce: doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá návrhem solární soustavy a solárního kolektoru typu Drain Back pro přípravu teplé vody rodinného domu. Po úvodní teoretické části následuje stanovení množství tepla k ohřevu teplé vody a rozložení spotřeby během roku. Na tomto základě je provedena energetická bilance kolektoru. Dále je stanoveno množství tepla potřebné jak k ohřevu, tak k přitápění. Následují tepelné a kapacitní výpočty solární soustavy. Cílem práce je posoudit obě možné varianty z hlediska návratnosti a environmentálního přínosu. Poslední částí diplomové práce je výběr zvolené varianty.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

CHARVÁT, M. *Design of Solar System and Solar Collector : Master thesis.*
Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering,
Department of Power Engineering, 2016, 61p. Thesis head: doc. Ing. Mojmír Vrtek,
Ph.D.

This master thesis is deal with the design of the solar system and solar collector type Drain Back for hot water production of family house. After the introductory theoretical part is followed by determining the amount of heat for hot water and the distribution of consumption during the year. On this basis, the energy balance of a collector is done. Furthermore, the quantity of heat needed for heating and as the additional heating is determined. Following a thermal and capacity calculations of the solar system. The main purpose of this thesis is to assess the two possible options in terms of payback and environmental benefits. The last part of the thesis is to choose the selected option.

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Energie Slunce	10
3. Předpoklady pro využití sluneční energie	11
4. Typy solárních kolektorů	12
4.1 Volba typu kolektoru.....	18
5. Množství tepla pro přípravu TV	19
5.1 Popis RD	19
5.2 Rozložení spotřeby během roku.....	20
6. Návrh solárního kolektoru	22
6.1 Technické parametry	22
6.2 Energetická bilance kolektoru	23
7. Systém pro přípravu TV	33
7.2 Počet kolektorů	37
7.3 Energetické zisky solární soustavy během roku	37
8. Systém s přípravou TV a přitápěním	39
8.1 Teplo potřebné k přitápění	39
8.2 Teplo potřebné k ohřevu TV a přitápění	41
9. Návrh solární soustavy	42
9.1 Typy solárních systémů.....	42
9.2 Navrhovaný systém.....	45
9.3 Komponenty soustavy	46
9.4 Systém pro přípravu TV	50
9.5 Systém pro přípravu TV s přitápěním	50
10. Stanovení environmentálního přínosu	51
11. Ekonomické zhodnocení	53
12. Výběr zvolené varianty	57
13. Závěr	57

Seznam značení a zkratek

Veličina	Název	Jednotka
a_1	lineární součinitel tepelné ztráty	[W/m ² K]
a_2	kvadratický součinitel tepelné ztráty	[W/m ² K ²]
b_0	součinitel modifikátoru úhlu dopadu	[-]
c_v	měrná tepelná kapacita	[J/kgK]
D_{tr}, d	vnější, vnitřní průměr	[m]
$E_{TV1,2} E_{P1,2}$	množství emisí/rok – ohřev TV, přitápění	[kg/rok]
E_{TZL}	emisní faktor TZL	[kg/m ³]
f	solární pokrytí, solární zisk	[%]
g	tíhové zrychlení	[m/s ²]
G	sluneční záření	[W/m ²]
Gr	Grashofovo kritérium	[-]
H	dávka slunečního ozáření	[kWh/(m ² .den)]
h	výška slunce nad obzorem	[rad]
h_{abs}	výška absorbéru	[m]
k	koeficient prostupu tepla	[W/m ² K]
K_θ	modifikátor úhlu dopadu	[-]
l	délka	[m]
m	množství, hmotnostní průtok	[m ³ /den, kg/s]
n	počet dnů	[-]
Na_{TV}, Na_{TVS}	návratnost investice	[rok]
N_{TV}, N_{TVS}	náklady	[kč/rok]
Nu	Nuseltovo kritérium	[-]
p	tepelné ztráty soustavy	[-]
Pr	Prandtlovo kritérium	[-]
p_{tr}	počet trubek v kolektoru	[-]
P_v	výkon kolektoru	[W]
Q, q	teplo, tepelný zisk	[kWh, MWh/rok, MJ/rok]
Q_{iZP}	výhřevnost zemního plynu	[MJ/m ³]
Re	Reynoldsovo kritérium	[-]
S	plocha	[m ²]
t	teplota	[°C]

U_{TV}, U_{TVS}	úspora nákladů	[kč/rok]
v	přirážka na tepelné ztráty	[-]
ν	kinematická viskozita	[m ² /s]
w_{tr}	rychlostní průtok vody kolektorem	[m/s]
z	rozteč trubek	[m]
α	pohltivost slunečního záření	[-]
α_I	součinitel přestupu tepla	[W/m ² K]
β	sklon kolektoru	[°]
γ	azimut kolektoru	[°]
γ_R	objemová teplotní roztažnost	[K ⁻¹]
γ_s	azimut slunce	[°]
δ	deklinace	[°]
δ_{iz}	tloušťka izolace	[m]
δ_{sklo}	tloušťka skla	[m]
ε	emisivita povrchu absorbérů	[-]
ε_b	energetická náročnost budovy	[-]
η	účinnost	[-]
θ	úhel dopadu slunečního záření	[°]
λ, λ_D	tepelná vodivost	[W/mK]
ρ_v	hustota vody	[kg/m ³]
σ	Stefan – Boltzmanova konstanta	[W/m ² K ⁴]
τ	propustnost světla sklem	[-]
τ_r	poměrná doba slunečního svitu	[-]
τ_s	sluneční časový úhel	[°]
ϕ	zeměpisná šířka	[°]

Zkratky

Al	hliník	tab.	tabulka
Cu	měď	TV	teplá voda
č.	číslo	TW	terawatt
m.n.m.	metrů nad mořem	UV	ultrafialové
Obr.	obrázek		

1. Úvod

Obnovitelné zdroje energie budou mít v budoucnu postupně větší zastoupení vlivem klesajících zásob fosilních paliv. Největší podíl na výrobě energie mezi fosilními palivy má v současnosti ropa, uhlí a zemní plyn. Tyto druhy paliv však mají velkou nevýhodu v tom, že nejsou obnovitelné, způsobují celou řadu problémů a mají negativní dopad na životní prostředí. Zbytek tvoří energie z jádra, která je relativně neškodná vůči přírodě, ale může se vlivem lidského faktoru, nebo jiných vnějších vlivů lehce vymknout z kontroly, viz jaderná havárie Černobyl a Fukušima. Dále jsou to pak větrné, vodní, geotermální a sluneční zdroje. Sluneční energie je lehce transformovatelná na tepelnou, kterou lze následně využít k ohřevu vody nebo i k vytápění.

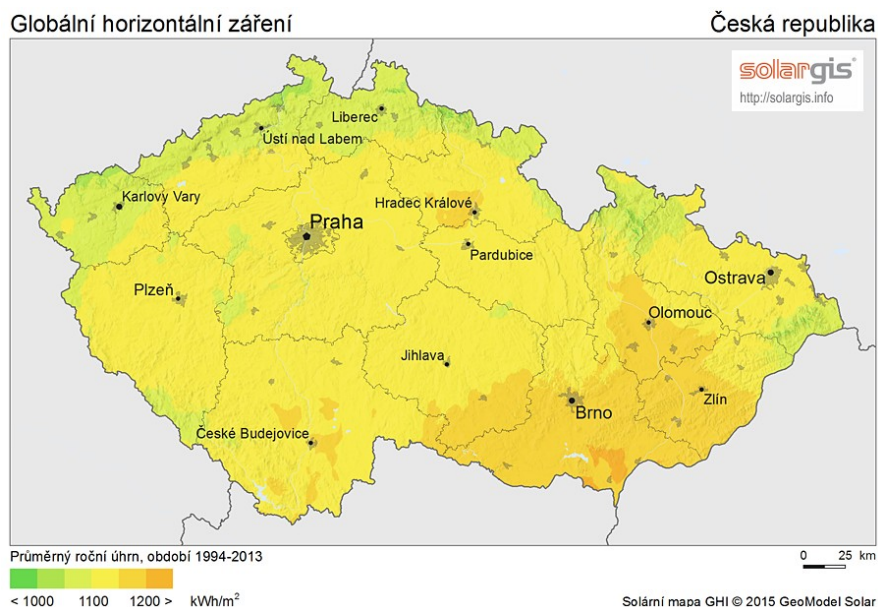
Důvodem k zavedení této technologie využití obnovitelného zdroje ze Slunce, je zvýšení podílu na spotřebě energie, úspora peněz, a snižování množství fosilních paliv a emisí. Sniženou produkcí emisí tímto domácnost přispívá k zlepšování stavu ovzduší, ke zpomalování skleníkového efektu a k menší zátěži na životní prostředí. Nevýhodou technologií, které využívají obnovitelných zdrojů, jsou vyšší pořizovací náklady, které se v této práci ale snažím minimalizovat.

Hlavním úkolem, kterým se budu v diplomové práci zabývat, je návrh solární soustavy a solárního kolektoru. Navrhovaná solární soustava má dvě varianty. První variantou je klasický ohřev teplé užitkové vody, druhou variantou je ohřev i s přitápěním. Obě tyto varianty jsou pro celoročně obydlený rodinný dům s pětičlennou domácností. Dalším úkolem je konstrukční návrh solárního kolektoru vyráběného svépomocí, podle volně dostupných zdrojů a podle zkušeností z jiných projektů. V závěru bude provedeno stanovení environmentálního přínosu, ekonomické zhodnocení a výběr zvolené varianty na základě návratnosti investic.

2. Energie Slunce

Většina obnovitelných zdrojů má svůj původ v energii slunečního záření. Největší potenciál ve smyslu množství energie, které nám může Slunce poskytnout, má přímé využití slunečního záření k výrobě tepla nebo elektřiny. Je to asi jediný obnovitelný zdroj, který by v případě nutnosti dokázal dlouhodobě pokrýt veškerou současnou potřebu energie. Na Slunci probíhají již několik miliard let termonukleární reakce. Těmito reakcemi se přeměňuje vodík na helium za uvolnění velkého množství energie.

Energetický příkon ze Slunce je ve vzdálenosti, v níž se nachází Země, přibližně 1300 W/m^2 . Tento výkon se označuje jako solární konstanta. V ČR dopadá za rok průměrně 1100 kWh/m^2 horizontálního záření. Celosvětová spotřeba energie je dnes asi 13 TW. Slunce dává zadarmo Zemi neustále 180 000 TW čisté energie. Bez něho by byla Země mrtvou planetou. Slunce je přirozeným dokonalým naprosto bezpečným termonukleárním zdrojem. Sluneční záření dopadající na povrch České republiky poskytuje ročně asi 90 000 TWh energie. [1]



Obr. č. 1 – Přehled globálního horizontálního záření v ČR

Sluneční záření se skládá z přímého a rozptýleného záření. Oba druhy pak dohromady představují celkové sluneční záření. Valná většina tepelné energie vyrobené solárními systémy pochází z přímého slunečního záření. V letním období za jasného dne dopadá v poledních hodinách přibližně 800 až 1 000 W na m². Při zatažené obloze klesá toto množství na 50 až 100 W/m². Nedostatečné množství energie slunečního záření zataženého dne je důvodem, proč se často nedá za těchto podmínek vyrobit potřebné množství tepla. Obecně platí, že kolektory vyrobí alespoň nějakou využitelnou energii, pokud vidíme zpoza mraků sluneční kotouč. Pokud nedokážeme určit přesnou polohu Slunce, jsou solární zisky zcela minimální, to platí pro všechny kolektory bez rozdílu konstrukce. [2]

3. Předpoklady pro využití sluneční energie

Základním požadavkem pro správné fungování solární soustavy je správná orientace kolektorového pole vzhledem ke světovým stranám. Jako ideální sklon kolektorů při celoročním provozu je 45° a orientace přímo na jih nebo s mírným odklonem na západ cca 10°. Tepelné zisky budou o málo vyšší tím, že se vyhneme ranním mlhám a nízké oblačnosti a dále tím, že v odpoledních hodinách jsou vyšší teploty, což má pozitivní vliv na vyšší účinnost. [2]

Hlavní výhodou solárního vytápění je to, že zdroj energie je k dispozici, na kterémkoli místě zemského povrchu. Jejím využitím k vytápění nevyčerpáváme nerostné suroviny, ani nezatěžujeme životní prostředí exhalacemi. energii nemusíme převážet z místa na místo a s jejím využíváním není spojena otrocká práce horníků na druhém konci světa. Proto je využívání solární energie nejen k vytápění žádoucí z hospodářského, politického i etického hlediska. Solární vytápění může ušetřit až 80% nákladů na topení a ohřev teplé užitkové vody. S výhodou jej lze použít především jako sekundárního nebo primárního topidla u systémů vytápění pracujících s nízkou teplotou otopných těles, jako je podlahové vytápění nebo stěnové vytápění. [3]

4. Typy solárních kolektorů

Solárních kolektorů je nepřeberné množství, pro názornost zde popíšu několik druhů rozdělených podle svých specifických vlastností. Pro výběr daného typu je potom nutné zvážit všechny klady a zápory jednotlivých druhů kolektorů podle potřeb uživatele a podmínek pro jejich využití.

Podle teplotnosné látky:

Kapalinové

Kapalinové solární kolektory jsou nejrozšířenějším a nejčastěji využívaným topným zařízením pro solární ohřev užitkové vody i k vytápění. Tento druh kolektorů je opatřen krycí vrstvou, nejčastěji sklem, pod kterou se nachází absorbér se systémem trubek, v nichž dochází k ohřevu kapaliny.

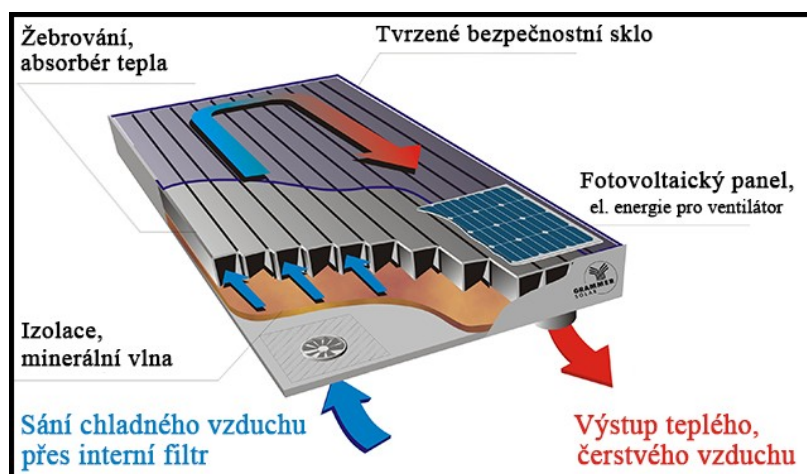
Kapalinou může být voda nebo nemrznoucí směs, to záleží na zvoleném druhu solárního systému, zvláště pak na fyzikálních vlastnostech. Voda je ale osvědčeným teplotnosným médiem a zároveň objem vody v otopném systému plní funkci akumulátoru tepla. Solární kolektor ohřeje kapalinu v jednom průtoku zhruba o 5°C až 80°C, to závisí na konstrukci, ploše kolektoru, rychlosti průtoku, a intenzitě slunečního svitu. Pokud se kapalina ohřeje jen o 5°C, potom lze nedostatečný ohřev kapaliny zajistit několikanásobným průtokem přes kolektor, kde dochází k postupnému ohřívání až na žádanou teplotu. Nedostatečný výkon slunečního kolektoru se pak může vyřešit spojením kolektorů do baterií, kde je možno sestavit systém několika solárních kolektorů řazených paralelně nebo sériově. Kapalinové solární vytápění má tu výhodu, že se využívá přímého přestupu tepla slunečního záření do teplotnosného média a díky moderním technologiím pracuje s vysokou účinností. Používá se ve spojení s akumulacími nádržemi a sekundárním otopným systémem. Při celoročním využívání objektu kde je umístěn, lze dosáhnout úspory za vytápění až 70% nákladů.

Teplonosné médium ohřáté kapalinovým slunečním kolektorem je čerpáno čerpadlem anebo steče vlastní tíhou do zásobníku teplé užitkové vody nebo do bazénu. Do solárních kolektorů se následně vrací vychlazená kapalina, která předala teplo vytápěnému zařízení.

Teplovzdušné

Teplonosným médiem, které odvádí teplo z tohoto zařízení je vzduch proudící přes kolektor. Využívají se většinou pro vytápění pasivních a nízkoenergetických rodinných domů, které se umísťují na fasádu nebo na střechu. Ohřátý vzduch se vede teplovzdušnými rozvody do interiéru, oběh vzduchu přitom zajišťuje ventilátor. Nejvíce rozšířený je tento systém u objektů v severských státech, jelikož jsou tyto objekty hodně vzdálené od elektřiny a jiných konvenčních zdrojů tepla. Konstrukčně jsou jednodušší než kapalinové, protože na rozvody nepůsobí koroze a nemusí být přizpůsobeny vůči vyšším tlakům a netěsnostem.

Vzduchové kolektory se také dají uplatnit např. v systémech vysoušení a temperování objektů ve spolupráci s tepelnými čerpadly, nebo dále pak k vyhřívání chodníků, parkovacích ploch a střech.



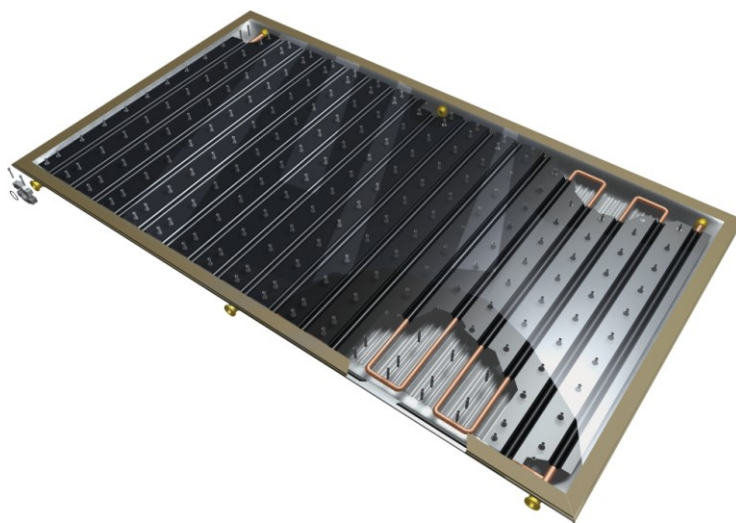
Obr. č. 2 - Teplovzdušný kolektor

Podle konstrukce a tlaku výplně :

Ploché

Existují buď jednoduché ploché deskové (atmosférické), nebo vakuové ploché deskové solární kolektory. Hlavním rozdílem je dvojsklo s výplní se vzácným plynem, které umožňuje prostup slunečních paprsků k vyhřívané kapalině, a zároveň taky zabraňuje únikům tepla prostupem přes jednoduché sklo. Vakuum je dostatečný izolant snižující tepelné ztráty na minimální hodnoty.

Je-li dostatek slunečního záření, dodává vakuový deskový solární kolektor dostatek tepla pro vytápění a ohřev vody i v chladnějších dnech. Dokáže také přijímat i difuzní záření, v případě že je Slunce schované za mraky. Nevýhodou je zase vyšší pořizovací cena oproti plochému slunečnímu kolektoru s jednoduchým sklem. Stejně jako u obyčejného deskového kolektoru je nutno ze systému odebírat přebytečné teplo, aby nedošlo k nárůstu teploty na bod varu. Kvůli velikému prostoru mezi skly a celistvosti plochy je obtížnější udržet vakuum na celé ploše kolektoru a mohou tak vznikat tepelné mosty, snižující účinnost kolektoru. Při větším poškození kolektoru, například u prasklého skla, je zase nutno vyměnit celý kolektor. Díky izolaci vakuovým dvojsklem se dají tyto deskové kapalinové sluneční kolektory použít k celoročnímu provozu na různých typech objektů.



Obr. č. 3 – Plochý deskový kolektor

Trubicové typu heat-pipe

Jsou to kapalinové solární kolektory, kde protéká nemrznoucí kapalina určená k ohřevu. Mezi stěnami trubic je vakuum, které funguje jako izolace proti ztrátám tepla. Kapalina je pod vlivem přijatého tepla ze slunečního záření změněna na páru, která stoupá do kondenzátoru, ve kterém pak předává teplo teplotonosné vodě v otopném systému. Pára se následně ochladí a zkondenzuje na kapalinu, která stéká zpět do vakuové trubice. Výhodou je vysoká účinnost bez ohledu na roční období. Teplotonosné médium je nemrznoucí kapalina. Při jejím použití odpadají starosti se zamrzáním kolektorů. Při přehřátí teplotonosného média se tento typ kolektorů díky vnitřní hydraulice dokáže sám odstavit z provozu, proto se nemusí odebírat přebytečné teplo. Do systému dodává na rozdíl od plochých kolektorů dostatek tepla ráno i večer, v zamračených dnech i v zimním období. Dojde-li k poškození kolektoru, tak se nemusí měnit celý, ale pouze jen poškozená vakuová trubice. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady. V letních slunných dnech je nižší účinnost, než u deskových kolektorů. Nutností zde jsou pravidelné kontroly a servisní prohlídky.



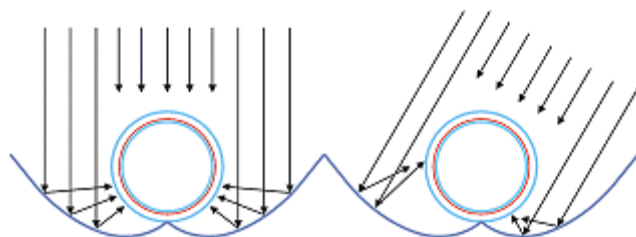
Obr. č. 4 – Trubicový kolektor

Trubicové typu U-pipe

Tento druh kolektoru je v principu podobný typu heat-pipe, zde je ale lépe vyřešen přenos tepla mezi nemrznoucí kapalinou ve vakuové trubici a sběrným potrubím otopné vody. Odpadají tedy problémy s přenosem tepla vlivem degradace a výrobních nedostatků. Výhodou je, že má nejvyrovnanější výkonovou charakteristiku během dne a roku ze všech typů solárních kolektorů. Jejich výkonnost neklesá stárnutím nebo zanedbanou údržbou. Nevýhodou je nutnost důkladně nadimenzovat výkon celého otopného systému. Při nedostatečném odběru tepla může totiž docházet ke zplynování primární kapaliny a tím k přerušení přenosu tepla z kolektorů. Další nevýhodou je také křehkost trubic.

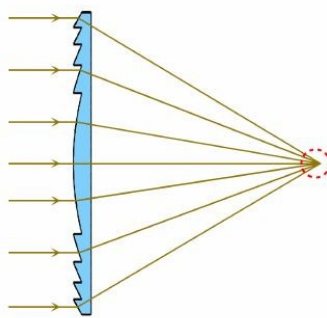
Koncentrační

Rozdělují se na ty, co koncentrují záření pomocí zrcadel či odražečů (reflektorů), a na ty co využívají ke koncentraci skleněných čoček (refraktorů). Mezi první typ patří ploché kolektory vybavené vnějším zrcadlem, nebo kolektory s vakuovanými Sydney trubkami opatřené reflektorem. Mezi druhý typ se řadí kolektor s lineární Fresnelovou čočkou.



Obr. č. 5 - Složený parabolický reflektor (CPC)

Princip je ten, že se do ohniska (absorbéru) soustředí přímé sluneční záření o výrazně menší ploše než je vlastní plocha apertury. Pro účinné použití těchto kolektorů je podmínkou dostatek energie přímého slunečního záření během roku. V České republice se oba tyto typy moc nevyskytují.



Obr. č. 6 - Fresnelova čočka

Podle absorberu:

Plastový

Je založen na jednoduchém principu. Používá se většinou pro ohřev vody v bazénech, která je pomocí čerpadla s filtračním zařízením čerpána do trubek solárního absorberu. Trubky předávají energii ze slunečního záření protékající vodě, a ta se pak vrací zpět do bazénu. Tyto absorbery mají největší účinnost v letním období, kdy bývá teplota okolního vzduchu relativně vysoká. Jejich instalace je oproti zaskleným kolektorům podstatně levnější. Chlorovaná bazénová voda může protékat přímo přes kolektory, proto není nutné budovat samostatný solární okruh naplněný nemrznoucí směsí. Jsou tvořeny polyetylénem s nánosem ochranných přísad proti UV záření.



Obr. č. 7 – Plastové absorbery

Kovový selektivní

Selektivní vrstva absorberu je vyrobena za účelem přeměnit sluneční záření na tepelnou energii, přitom předat do solárního systému maximum z této energie (pohltivost) a zároveň minimum z ní vyzářit do okolí (emisivita). Používá se zde mnoho materiálů, které jsou na teplovodivé plochy nanášeny buď galvanicky, nebo napařováním či napařováním ve vakuu. Selektivní vrstvy jsou navíc pro zvýšení pohltivosti opatřeny vrchní antireflexní vrstvou. Nej kvalitnější absorbery bývají nejčastěji potaženy vrstvou TiNO_x , což je sloučenina titanu a oxidu dusíku. Udávaná pohltivost slunečního záření se pohybuje okolo 95% a emisivita zhruba 5 až 10%.

4.1 Volba typu kolektoru

Typ kolektoru volím vzhledem k požadavkům na jednoduchost konstrukce a bezúdržbový provoz, vzhledem k nízkým nákladům na pořízení, respektive výrobu a na servis během používání. Dále pak kvůli výkonnosti, účinnosti a vlastnostem materiálů, ze kterých je vyroben, a na životnost a návratnost investice do kolektoru. Zvláště pak s ohledem na ekologický dopad na životní prostředí při recyklaci. Z nabízených typů solárních kolektorů a podle kladených požadavků jsem se rozhodl pro plochý kapalinový atmosférický kolektor s kovovým absorberem (neselektivním) s jednoduchým zasklením. Pro snadnější přehled uvádím v odrážkách důvody mého rozhodnutí.

Důvody:

- nenáročná údržba a provoz
- vyšší účinnost
- nízké náklady na pořízení
- ekologie
- návratnost investice

5. Množství tepla pro přípravu TV

5.1 Popis RD

Solární soustava s kolektorem, kterou navrhují, bude umístěná na střeše rodinného domu nacházejícího se v obci Horka nad Moravou u Olomouce. Tento dům je celoročně obydlen pětičlennou rodinou a je umístěný v řadové zástavbě. Leží v nadmořské výšce 222 m. n. m, souřadnice zeměpisné šířky je $49^{\circ} 38' 14''$, zeměpisné délky je $17^{\circ} 12' 21''$.

Je to cihlová stavba postavena v roce 1970, má dvě podlaží, střecha je sedlová. Solární kolektory na ní budou umístěny směrem na jihozápad pod maximálním azimutem 20° bez překážek, které by jim stínily. Sklon kolektorů bude 45° od horizontu pro optimální využití slunečního světla.



Obr. č. 8 – Lokalizace objektu [10]

5.2 Rozložení spotřeby během roku

Množství vody na jednu dospělou osobu, kterou je potřeba pro přípravu TV za den, je v této pětičlenné domácnosti 50 litrů. Toto množství jsem určil z jednotlivých spotřeb, které vznikly v minulém roce při běžných domácích činnostech a jsou uvedeny v tabulce. Teplota studené vody je 10°C, potřebná teplota teplé vody je 60°C.

druh činnosti	průměrná denní spotřeba (l)
osobní hygiena	35
domácí práce + úklid	5
příprava stravy	7
ostatní	3
CELKEM	50

Tab. č. 1 - Denní spotřeba TV

Množství vody k ohřevu za den

$$m_c = m \cdot os \quad 5.1$$

$$m_c = 50 \cdot 5$$

$$m_c = 250 \text{ litrů} / \text{den} = 0,250 \text{ m}^3 / \text{den}$$

Skutečná denní spotřeba tepla k ohřevu TV

$$Q_{Dskut} = \frac{c_v \cdot \rho_v \cdot m_c \cdot (t_2 - t_1)}{3,6 \cdot 10^6} \cdot (1 + p) \quad 5.2$$

$$Q_{Dskut} = \frac{4181,71 \cdot 998,31 \cdot 0,250 \cdot (60 - 10)}{3,6 \cdot 10^6} \cdot (1 + 0,2)$$

$$Q_{Dskut} = 17,39 \text{ kWh} / \text{den}$$

p – hodnota srážky tepelných zisků kolektorů vlivem tepelných ztrát soustavy, (příprava TV do 10m²)

Skutečná měsíční spotřeba tepla k ohřevu TV

$$Q_{Mskut} = \frac{c_v \cdot \rho_v \cdot m_c \cdot (t_2 - t_1)}{3,6 \cdot 10^6} \cdot (1 + p) \cdot n \quad 5.3$$

$$Q_{Mskut} = \frac{4181,71 \cdot 998,31 \cdot 0,250 \cdot (60-10)}{3,6 \cdot 10^6} \cdot (1 + 0,2) \cdot 30$$

$$Q_{Mskut} = 521,7 \text{ kWh/měsíc} \quad n - \text{počet dní za měsíc}$$

Měsíční spotřeba po jednotlivých měsících v roce

Měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen
Počet dní	31	28	31	30	31	30
Q_{Mskut}	539,1	486,9	539,1	521,7	539,1	521,7
Měsíc	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
Počet dní	31	31	30	31	30	31
Q_{Mskut}	539,1	539,1	521,7	539,1	521,7	539,1

Tab. č. 2 - Měsíční spotřeba TV

Spotřeba tepla k ohřevu TV za rok

$$q_{tv} = \sum_1^{12} Q_{Mskut} \quad 5.4$$

$$q_{tv} = \underline{6,35 \text{ MWh/rok}}$$

6. Návrh solárního kolektoru

6.1 Technické parametry

Navrhovaný solární kolektor bude namontovaný na střešní krytinu na nosné konstrukci pod optimálním úhlem 45° . Skříň kolektoru je tvořena z pozinkovaného plechu. Krycí sklo je bezpečnostní, tloušťky 5 mm. Jako těsnění je použitý silikonový tmel mrazuvzdorný s antikorozi ochranou, odolný vůči vlhku, vodě, provozním teplotám od -60°C do 260°C , povětrnostním vlivům a UV záření. Objem teplotnosné kapaliny je 15 litrů. Absorbční plocha je 2 m^2 . Celková hmotnost 35 kg.

Technické parametry jednotlivých dílů kolektoru jsou tyto:

Povrch absorbéru

Tvoří ho měděný plech tloušťky 0,6 mm, natřený kolektorovou selektivní barvou RABSORB 5, pohltivost slunečního záření $\alpha = 94\%$, emisivita $\varepsilon = 6\%$, tepelná vodivost při 20°C $\lambda = 395\text{ W/m}\cdot\text{K}$. Výška absorbéru $h = 2\text{ m}$.

Trubky v absorbéru

Jsou vyrobené z fosforem dezoxidované mědi, která má podle normy ČSN EN 1057 kvalitu Cu DHP. Čistota mědi udávaná výrobcem je větší než 99,9 %. Vnější průměr D je 15 mm, vnitřní průměr $d = 14\text{ mm}$. Rozteč trubek $z = 10\text{ mm}$. Tepelná vodivost mědi při 20°C $\lambda = 395\text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Přední transparentní vrstva

Bezpečnostní tvrzené sklo o tloušťce 5 mm, propustnost světla $\tau_w = 92\%$, tepelná vodivost $\lambda = 0,8\text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Tepelná izolace zadní části absorbéru

Minerální vata Isover, tloušťka 50 mm, tepelná vodivost $\lambda_D = 0.042\text{ W/m}\cdot\text{K}$.

6.2 Energetická bilance kolektoru

Výchozí podmínky pro výpočet kolektoru jsou, sluneční záření $G = 800 \text{ W/m}^2$ (letní obloha s menší oblačností), teplota okolního vzduchu $t_{\text{okolí}} = 22 \text{ °C}$, střední teplota vody v kolektoru, $t_{\text{střed}} = 44 \text{ °C}$, rychlost okolního vzduchu 4 m/s (slabý vítr). Volil jsem je tak, aby se co nejvíce přibližovali průměrným reálným podmínkám. [6], [7], Výpočet energetické bilance je proveden pomocí [13].

Výpočet celkového tepelného toku

$$Q_C = Q_A - Q_{PV} - Q_E - Q_{ZV} \quad 6.1$$

Q_A - tepelný tok přijatý absorbérem [W/m]

Q_{PV} - tepelný tok odevzdáný přední transparentní vrstvou [W/m]

Q_E - tepelný tok emitovaný do okolí [W/m]

Q_{ZV} - tepelný tok odevzdáný zadní vrstvou [W/m]

Tepelný tok přijatý absorbérem

$$Q_A = G \cdot \tau_w \cdot \alpha \cdot h \quad 6.2$$

$$Q_A = 800 \cdot 0,92 \cdot 0,94 \cdot 2$$

$$Q_A = 1383,7 \text{ W/m}$$

τ_w - propustnost světla sklem [-]

α - pohltivost slunečního záření [-]

h - výška absorberu [m]

Tepelný tok odevzdaný přední transparentní vrstvou

$$Q_{PV} = k_{abs} \cdot (t_{abs} - t_{okolí}) \cdot h \quad 6.3$$

$$Q_{PV} = 1,165 \cdot (63,37 - 22) \cdot 2$$

$$Q_{PV} = 96,29 \text{ W/m}$$

k_{abs} - koeficient prostupu

tepla z absorbérů do okolí $[W/m^2 K]$

Prostup tepla přes přední vrstvu

$$k_{abs} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{sklo}}{\lambda_{sklo}} + \frac{1}{\alpha_o}} \quad 6.4$$

$$k_{abs} = \frac{1}{\frac{1}{1,24} + \frac{0,005}{0,8} + \frac{1}{21}}$$

$$k_{abs} = 1,165 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

α_1 - koeficient prostupu tepla z absorbérů

na vnitřní povrch skla

$[W/m^2 K]$

λ_{sklo} - tepelná vodivost skla

$[W/mK]$

δ_{sklo} - tloušťka skla

$[m]$

Objemová teplotní roztažnost vzduchu

$$\gamma_R = \frac{1}{t_{stř} + 273,15} \quad 6.5$$

$$\gamma_R = \frac{1}{44 + 273,15}$$

$$\gamma_R = 3,15 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$t_{stř}$ - střední teplota

$[^{\circ}C]$

Grashofovo kritérium pro vzduchovou mezeru

$$Gr_{vzduch} = \frac{g \cdot \delta_{iz}^3}{\nu_{vzduch}} \cdot \gamma_R \cdot \Delta t \quad 6.6$$

$$Gr_{vzduch} = \frac{9,81 \cdot 0,05^3}{(16,98 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 3,15 \cdot 10^{-3} \cdot 10$$

$$Gr_{vzduch} = 133972,05 \quad \delta_{iz} - \text{tloušťka izolace} \quad [m]$$

$$g - \text{tíhové zrychlení} \quad [m/s^2]$$

$$\nu_{vzduch} - \text{kinematická viskozita vzduchu} \quad [m^2/s]$$

$$\Delta t - \text{rozdíl vstupní a výstupní teploty vody}$$

$$\text{v kolektoru} \quad [K]$$

Nuseltovo kritérium pro vzduchovou mezeru

$$Nu_{vzduch} = 0,065 \cdot Gr_{vzduch}^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\delta_{iz}}{h} \right)^{\frac{1}{9}} \quad 6.7$$

$$Nu_{vzduch} = 0,065 \cdot (133972,05)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{0,05}{2} \right)^{\frac{1}{9}}$$

$$Nu_{vzduch} = 2,21$$

Přestup tepla z absorbéru na vnitřní stranu skla

$$\alpha_1 = \frac{Nu_{vzduch} \cdot \lambda_{vzduch}}{\delta_{vzduch}} \quad 6.8$$

$$\alpha_1 = \frac{2,21 \cdot 2,8 \cdot 10^{-2}}{0,05}$$

$$\alpha_1 = 1,24 \text{ W/m}^2 \cdot K \quad \lambda_{vzduch} - \text{tepelná vodivost vzduchu při } t_{stř} \quad [W/mK]$$

$$\delta_{vzduch} - \text{šířka vzduchové mezery} \quad [m]$$

Tepelný tok emitovaný do okolí

$$Q_E = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (t_{abs}^4 - t_o^4) \cdot h \quad 6.9$$

$$Q_E = Q_E = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,06 \cdot \left[\left((273,15 + 63,37)^4 - (273,15 + 22)^4 \right) \right] \cdot 2$$

$$Q_E = 35,25 \text{ W/m} \quad \sigma - \text{ Stefan – Boltzmannova konstanta} \quad [W/m^2 K^4]$$

$$\varepsilon - \text{ emisivita} \quad [-]$$

$$t_{abs} - \text{ teplota povrchu absorbéru} \quad [K]$$

$$t_o - \text{ teplota okolí} \quad [K]$$

Tepelný tok odevzdaný zadní vrstvou

$$Q_{ZV} = k_{iz} \cdot (t_{abs} - t_o) \cdot h \quad 6.10$$

$$Q_{ZV} = 0,677 \cdot (63,37 - 22) \cdot 2$$

$$Q_{ZV} = 56,01 \text{ W/m} \quad k_{iz} - \text{ koeficient prostupu tepla do okolí} \quad [W/m^2 K]$$

Celkový tepelný tok

$$Q_C = 1383,7 - 96,29 - 35,25 - 56,01$$

$$Q_C = 1196,15 \text{ W/m}$$

Prostup tepla přes zadní vrstvu izolace

$$k_{iz} = \frac{1}{\frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{1}{\alpha_o}} \quad 6.11$$

$$k_{iz} = \frac{1}{\frac{0,05}{0,035} + \frac{1}{21}}$$

$$k_{iz} = 0,677 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\delta_{iz} - \text{tloušťka izolace} \quad [m]$$

$$\lambda_{iz} - \text{tepelná vodivost izolace} \quad [W/mK]$$

$$\alpha_o - \text{koeficient přestupu tepla do okolí z} \\ \text{vnějšího povrchu skla} \quad [W/m^2 K]$$

Šířka kolektoru

$$l_{kol} = \frac{P_v}{Q_c} \quad 6.12$$

$$l_{kol} = \frac{1200}{1196,15}$$

$$l_{kol} = 1m$$

$$P_v - \text{výkon kolektoru} \quad [W]$$

Aktivní plocha kolektoru

$$S_{kol} = l_{kol} \cdot h \quad 6.13$$

$$S_{kol} = 1 \cdot 2$$

$$S_{kol} = 2 \text{ m}^2$$

Hmotnostní průtok vody přes kolektor

$$\dot{m}_v = \frac{Q_c}{c_v \cdot \Delta t_v} \cdot I_{kol} \quad 6.14$$

$$\dot{m}_v = \frac{1196,15}{4184 \cdot 10} \cdot 1$$

$$\dot{m}_v = 0,029 \text{ kg/s} \quad c_v - \text{měrná tepelná kapacita vody o teplotě } 60^\circ\text{C} \quad [\text{J/kgK}]$$

Počet trubek v absorberu

$$p_{tr} = \frac{l_{kol}}{z + D_{tr}} \quad 6.15$$

$$p_{tr} = \frac{1}{0,1 + 0,015} \quad z - \text{rozteč trubek} \quad [m]$$

$$p_{tr} = 8 \text{ ks} \quad D_{tr} - \text{vnější průměr} \quad [m]$$

Rychlostní průtok vody přes kolektor

$$w_{tr} = 4 \dot{m}_v / (\rho_v \cdot p_{tr} \cdot \pi \cdot d^2) \quad 6.16$$

$$w_{tr} = (4 \cdot 0,029) / (983,15 \cdot 8 \cdot \pi \cdot (0,014)^2)$$

$$w_{tr} = 0,024 \text{ m/s} \quad d - \text{vnitřní průměr trubek} \quad [m]$$

$$\rho_v - \text{hustota vody} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Přestup tepla z trubky do vody

$$\alpha_{voda} = \frac{Nu_{voda} \cdot \lambda_{voda}}{d} \quad 6.17$$

$$\alpha_{voda} = \frac{9,97 \cdot 65,293 \cdot 10^{-2}}{0,014}$$

$$\alpha_{voda} = 464,98 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Nu_{voda} - Nusseltovo kritérium pro laminární

proudění vody v trubce [-]

λ_{voda} - tepelná vodivost vody při 60°C [W/mK]

Objemová teplotní roztažnost

$$\gamma_R = \frac{1}{t_{voda}} \quad 6.18$$

$$\gamma_R = \frac{1}{(273,15 + 60)}$$

$$\gamma_R = 3,002 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Grashofovo kritérium pro vodu

$$Gr_{voda} = \frac{g \cdot d^3}{\nu_{voda}^2} \cdot \gamma_R \cdot \Delta t_{voda} \quad 6.19$$

$$Gr_{voda} = \frac{9,81 \cdot 0,014^3}{(0,474 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 3,002 \cdot 10^{-3} \cdot 10$$

$$Gr_{voda} = 3596724$$

ν_{voda} - kinematická viskozita vody [m²/s]

Reynoldsovo kritérium

$$Re = \frac{w_{tr} \cdot d}{\nu_{voda}} \quad 6.20$$

$$Re = \frac{0,0236 \cdot 0,014}{0,474 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re = 697,05$$

w_{tr} - rychlost vody v trubce [m/s]

Nuseltovo kritérium pro laminární proudění v trubce

$$Nu_{lam} = 0,17 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr_{tv}^{0,43} \cdot Gr_{voda}^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_{tv}}{Pr_{tp}} \right)^{0,25} \quad 6.21$$

$$Nu_{lam} = 0,17 \cdot 697,05^{0,33} \cdot 2,98^{0,43} \cdot 3596724^{0,1} \cdot \left(\frac{2,98}{2,94} \right)^{0,25}$$

$$Nu_{lam} = 9,97$$

Pr_{tv} - Prandtlovo kritérium pro teplotu vody t_v [-]

Pr_{tp} - Prandtlovo kritérium pro teplotu vody t_{abs} [-]

Prostup tepla trubkou

$$k_{trubka} = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_{voda} \cdot d} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{m\acute{e}d'}} \cdot \ln \frac{D_{tr}}{d}} \quad 6.22$$

$$k_{trubka} = \frac{\pi}{\frac{1}{464,98 \cdot 0,014} + \frac{1}{2 \cdot 395} \cdot \ln \frac{0,015}{0,014}}$$

$$k_{trubka} = 20,439 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

$\lambda_{m\acute{e}d'}$ - tepelná vodivost mědi [W/mK]

Prostup tepla do vody pro m² plochy kolektoru

$$k_{voda} = \frac{k_{trubka}}{z + D_{tr}} \quad 6.23$$

$$k_{voda} = \frac{20,439}{0,1 + 0,015}$$

$$k_{voda} = 177,73 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Teplota absorbéru

$$t_{abs} = \frac{Q_c}{k_{voda} \cdot h} + t_v \quad 6.24$$

$$t_{abs} = \frac{1196,15}{177,73 \cdot 2} + 60$$

$$t_{abs} = 63,37^\circ C$$

Teplota vnitřního povrchu skla

$$t_{sklo} = t_{abs} - \frac{Q_{PV}}{\alpha_{sklo} \cdot h} \quad 6.25$$

$$t_{sklo} = 63,37 - \frac{96,29}{1,24 \cdot 2}$$

$$t_{sklo} = 24,54^\circ C$$

Střední teplota

$$t_{střed} = \frac{t_{abs} + t_{sklo}}{2} \quad 6.26$$

$$t_{střed} = \frac{63,37 + 24,85}{2}$$

$$t_{střed} = 44^\circ C$$

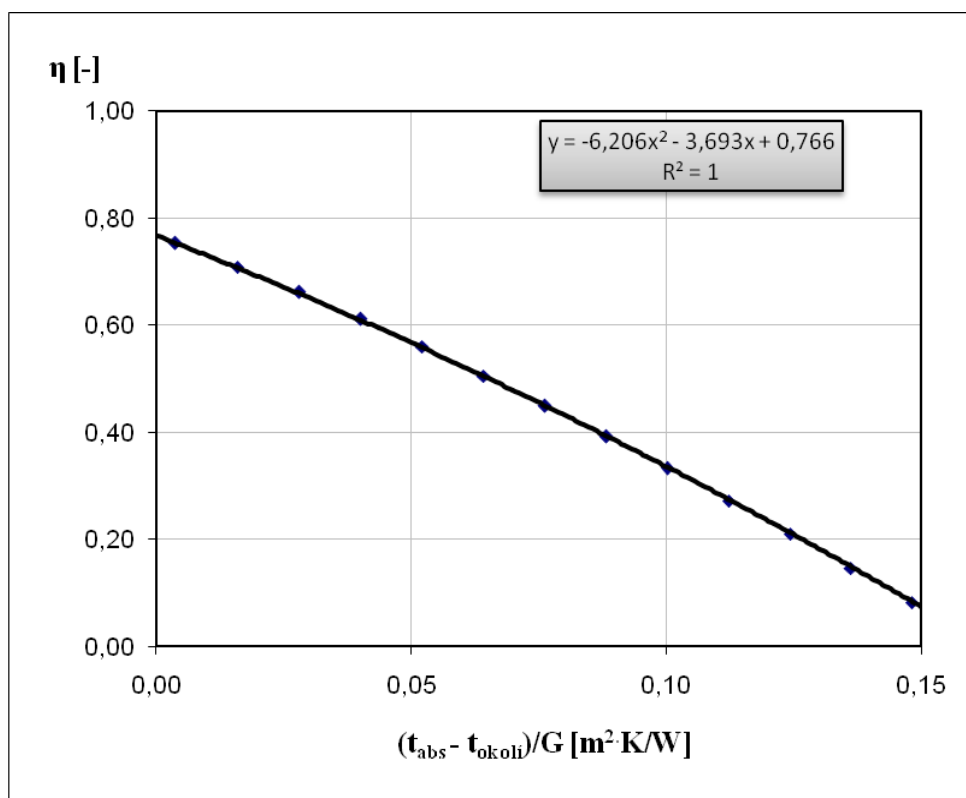
Účinnost kolektoru

$$\eta = \tau \cdot \alpha - (k_{iz} + k_{abs}) \frac{(t_{abs} - t_{okoli})}{G} - \alpha_2 \frac{(t_{abs} - t_{okoli})^2}{G} \quad 6.27$$

$$\eta = 0,92 \cdot 0,94 - (0,677 + 1,165) \frac{(63,37 - 22)}{800} - 0,009 \frac{(63,37 - 22)^2}{800}$$

$$\eta = \underline{75 \%}$$

a_2 - kvadratický součinitel tepelné ztráty, volím $a_2 = 0,009 \text{ W/m}^2 \text{ K}^2$



Graf č. 1 - Křivka účinnosti solárního kolektoru

7. Systém pro přípravu TV

Při výpočtu energetických zisků ze solárních kolektorů, jsem vycházel z publikace Solární tepelné soustavy, zdroj [4], kde jsou v přílohách uvedeny výchozí údaje jako teoretická denní dávka celkového slunečního ozáření, teoretická denní dávka difuzního ozáření a poměrná doba slunečního svitu. Pomocí výpočtů a na základě množství spotřebované TV, jsem dospěl k závěru, že je potřeba 8 m² aktivní plochy kolektorového pole.

Celková denní dávka slunečního ozáření pro měsíc duben - skutečná

$$H_{T, den} = \tau_r \cdot H_{T, den, teor} \quad 7.1$$

$$H_{T, den} = 0,39 \cdot 7,83$$

$$H_{T, den} = 3,05 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{den})$$

Výchozí údaje z [4]

- pro charakteristickou oblast venkov

- pro sklon plochy $\beta = 45^\circ$, azimutový úhel $\gamma = \pm 15^\circ$

- teoretická denní dávka celkového ozáření, $H_{T, den, teor} = 7,83 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{den})$

- poměrná doba slunečního svitu vztažená na Brno $\tau_r = 0,39 [-]$

Celková měsíční dávka slunečního ozáření pro měsíc duben – skutečná

$$H_{T, měsíc} = H_{T, den} \cdot n \quad 7.2$$

$$H_{T, měsíc} = 3,05 \cdot 30$$

$$H_{T, měsíc} = 91,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{měsíc}) \quad n - \text{počet dní v měsíci dubnu}$$

Střední denní účinnost kolektoru v měsíci dubnu

$$\eta_k = \tau \cdot \alpha - a_1 \left(\frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} \right) - a_2 \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}} \quad 7.3$$

$$\eta_k = 0,86 - 1,842 \left(\frac{40 - 12}{576} \right) - 0,009 \frac{(40 - 12)^2}{576}$$

$$\eta_k = 75,8 \%$$

$$a_1 - \text{lineární součinitel tepelné ztráty} = (k_{iz} + k_{abs}) \quad a_1 = 1,842 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$a_2 - \text{kvadratický součinitel tepelné ztráty, volím} \quad a_2 = 0,009 \text{ W/m}^2\text{K}^2$$

$$t_{k,m} - \text{průměrná teplota teponosné kapaliny pro přípravu TV}$$

$$\text{pokrytí 35\% až 70\%,} \quad t_{k,m} = 40^\circ\text{C}$$

$$t_{e,s} - \text{průměrná venkovní teplota v měsíci duben,} \quad t_{e,s} = 12^\circ\text{C}$$

$$G_{T,m} - \text{střední hodnota slunečního ozáření pro charakteristickou}$$

$$\text{oblast venkov a sklon plochy } \beta = 45^\circ, \text{ azimut } \gamma = \pm 15^\circ, \quad G_{T,m} = 576 \text{ W/m}^2$$

Modifikátor úhlu dopadu

$$K_\theta = 1 - b_o \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \quad 7.4$$

$$K_\theta = 1 - 0,1 \left(\frac{1}{0,992} - 1 \right)$$

$$K_\theta = 0,999 \quad b_o - \text{součinitel modifikátoru úhlu dopadu pro běžné zasklení} = 0,1$$

Úhel dopadu slunečního záření

$$\cos \theta = \sin h \cdot \cos \beta + \cos h \cdot \sin \beta \cdot \cos(\gamma_s - \gamma) \quad 7.5$$

$$\cos \theta = \sin 0,8340 \cdot \cos 0,7854 + \cos 0,8340 \cdot \sin 0,7854 \cdot \cos(0,4320 - 0,2618)$$

$$\cos \theta = 0,992$$

$$\beta - \text{sklon kolektoru}, \quad \beta = 45^\circ$$

$$\gamma - \text{azimut kolektoru}, \quad \gamma = 15^\circ$$

Azimut slunce

$$\gamma_s = \arcsin \left[\sin \tau \cdot \left(\frac{\cos \delta}{\cos h} \right) \right] \quad 7.6$$

$$\gamma_s = \arcsin \left[\sin 0,2897 \cdot \left(\frac{\cos 0,1696}{\cos 0,8340} \right) \right]$$

$$\gamma_s = 0,432^\circ$$

Deklinace

Na základě kalendářního data DD.MM.

DD.MM. – 15.den, 4.měsíc

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin(0,98 \cdot DD + 29,7 \cdot MM - 109) \quad 7.7$$

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin(0,98 \cdot 15 + 29,7 \cdot 4 - 109)$$

$$\delta = 9,72^\circ$$

Sluneční časový úhel

tzv. sluneční poledne

$$\tau = 15^\circ \cdot (ST - 12,001)$$

pro obec Horka na Moravě, $\tau = 16,6^\circ$

Výška slunce nad obzorem

$$h = \arcsin(\sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \tau) \quad 7.8$$

$$h = \arcsin(\sin 0,1696 \cdot \sin 0,8663 + \cos 0,1696 \cdot \cos 0,8663 \cdot \cos 0,2897)$$

$$h = 0,834 \text{ rad}$$

ϕ - zeměpisná šířka,

$$\phi = 49^\circ 38' 14''$$

Energetický zisk kolektoru za měsíc duben

$$Q_{kol} = K_\theta \cdot \eta_k \cdot n \cdot H_{T, \text{den}} \cdot S_{kol} (1 - p) \quad 7.9$$

$$Q_{kol} = 0,999 \cdot 0,758 \cdot 30 \cdot 3,05 \cdot 2 \cdot (1 - 0,2)$$

$$Q_{kol} = \underline{110,86 \text{ kWh/měsíc}}$$

K_θ - modifikátor úhlu dopadu,

$$K_\theta = 0,999$$

η_k - střední denní účinnost kolektoru

$$\eta_k = 0,758 \text{ [-]}$$

n - počet dnů v měsíci

$H_{T, \text{den}}$ - skutečná denní dávka slunečního ozáření pro oblast venkov

α sklon plochy $\beta = 45^\circ$, azimut $\gamma = \pm 15^\circ$,

$$H_{T, \text{den}} = 3,05 \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{den)}$$

S_{kol} - aktivní plocha kolektoru,

$$S_{kol} = 2 \text{ m}^2$$

p - tepelné ztráty soustavy pro ohřev TV do 10 m^2 ,

$$p = 0,20 \text{ [-]}$$

7.2 Počet kolektorů

Plocha kolektorů

Počet kolektorů

$$S_{k, celk.} = p_{k, celk.} \cdot S_{kol} \quad 7.10$$

$$p_{k, celk.} = \frac{Q_{Mskut}}{Q_{kol}} \quad 7.11$$

$$S_{k, celk.} = 4 \cdot 2$$

$$p_{k, celk.} = \frac{435}{109,4}$$

$$S_{k, celk.} = 8m^2$$

$$p_{k, celk.} = 3,98 = \underline{4 \text{ ks}}$$

7.3 Energetické zisky solární soustavy během roku

Skutečný energetický zisk solární soustavy v dubnu

$$Q_{pole} = Q_{kol} \cdot p_{k, celk.} \quad 7.12$$

$$Q_{pole} = 110,86 \cdot 4$$

$$Q_{pole} = 443,4 \text{ kWh/měsíc}$$

měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen
spotřeba TV [kWh/měs.]	539,1	486,9	539,1	521,7	539,1	521,7
získaná energie [kWh/měs.]	0	0	395,6	443,4	579,8	671,5
přebytek / nedostatek + / - [kWh/měs.]	-539,1	-486,9	-143,5	-78,3	40,7	149,8
solární pokrytí [%]	0,0	0,0	73,4	85	100	100
měsíc	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
spotřeba TV [kWh/měs.]	539,1	539,1	521,7	539,1	521,7	539,1
získaná energie [kWh/měs.]	706,1	628,3	558,9	320,2	154,5	0
přebytek / nedostatek + / - [kWh/měs.]	167	89,2	37,2	-218,9	-367,2	-539,1
solární pokrytí [%]	100	100	100	59,4	29,6	0,0

Tab. č. 3 – Energetické zisky solární soustavy během roku

Celkový energetický zisk solární soustavy za rok

$$q_{ss} = \sum_1^{12} Q_{pole} \quad 7.13$$

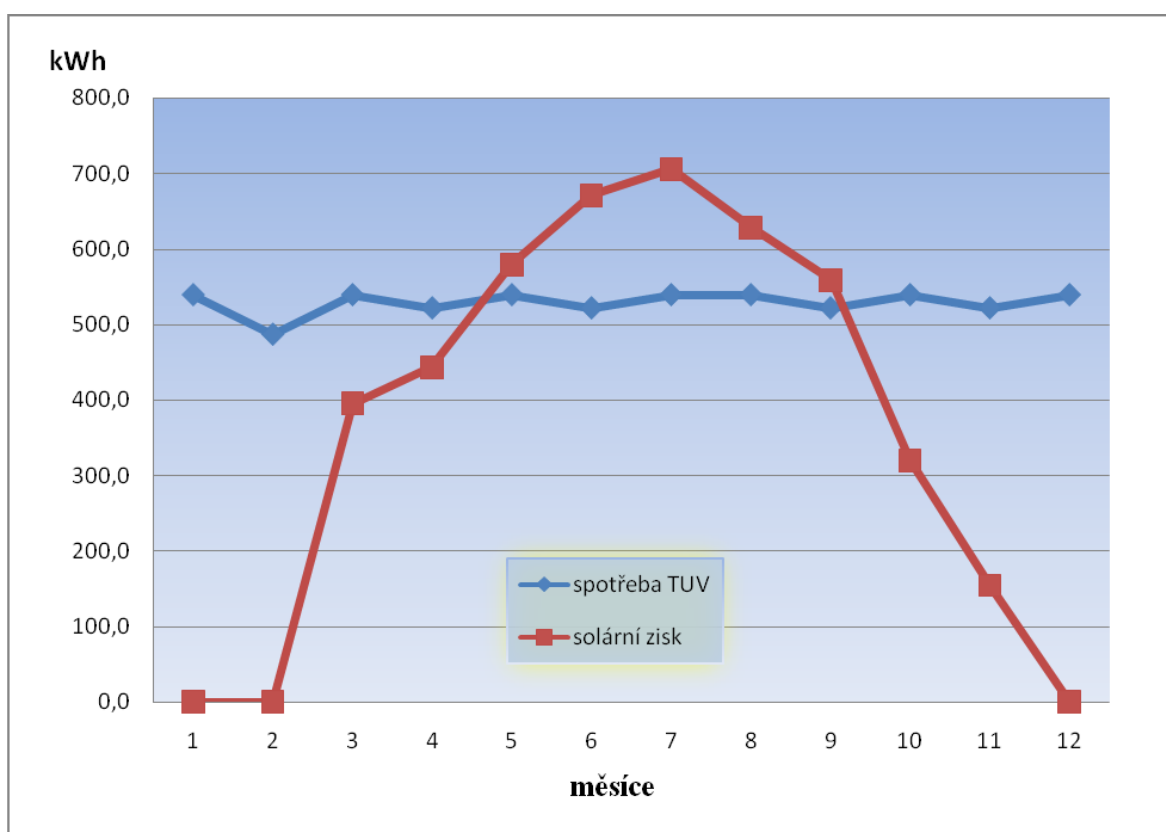
$$q_{ss} = \underline{4,45 \text{ MWh/rok}}$$

Celkové solární pokrytí

$$f = \frac{q_{ss}}{q_{nv}} \cdot 100 \quad 7.14$$

$$f = \frac{4,45}{6,35} \cdot 100$$

$$f = \underline{70\%}$$



Graf č. 2 - Solární pokrytí spotřeby TV

8. Systém s přípravou TV a přitápěním

8.1 Teplo potřebné k přitápění [8], [9]

Výpočet tepla v dubnu

$$Q_{p, VYT} = (1 + v) \cdot 24 \cdot n \cdot \varepsilon \cdot Q_z \cdot \frac{(t_p - t_{ep})}{(t_{iv} - t_{ev})} \quad 8.1$$

$$Q_{p, VYT} = (1 + 0,05) \cdot 24 \cdot 30 \cdot 0,75 \cdot 7,2 \cdot \frac{(20 - 8,8)}{(20 - (-12))}$$

$$Q_{p, VYT} = 1428,8 \text{ kWh/měs.}$$

Q_z - jmenovitá tepelná ztráta objektu,	7,2 kW
t_{iv} - výpočtová vnitřní teplota,	$t_{iv} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
t_p - střední vnitřní teplota v daném měsíci,	$t_{ip} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
t_{ep} - střední venkovní teplota v daném měsíci	$[^{\circ}\text{C}]$
t_{ev} - výpočtová venkovní teplota,	$t_{ev} = -12 \text{ }^{\circ}\text{C}$
ε - korekční součinitel, energetická náročnost budovy, běžný standart	$\varepsilon_b = 0,75$
v - přírážka na tepelné ztráty,	$v = 0,05$
n - počet dní v měsíci	

měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen
počet dní v měsíci	31	28	31	30	31	30
$t_{ep} [^{\circ}\text{C}]$	-1,5	0	3,2	8,8	13,6	17,3
$Q_{p,VYT} [\text{kWh}]$	2834,3	2381,4	2214,7	1428,8	0,0	0,0
měsíc	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
počet dní v měsíci	31	31	30	31	30	31
$t_{ep} [^{\circ}\text{C}]$	19,2	18,6	14,9	9,4	3,2	-0,2
$Q_{p,VYT} [\text{kWh}]$	0,0	0,0	650,6	1397,4	2143,3	2662,9

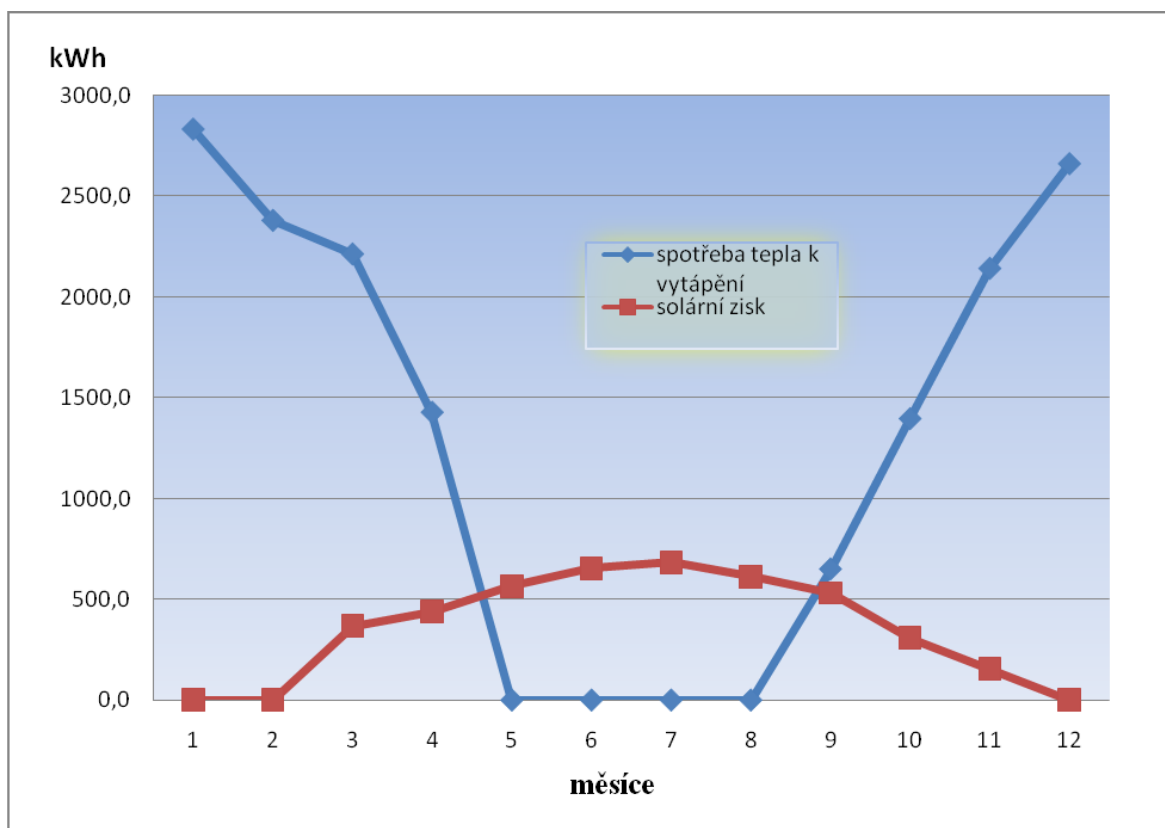
Tab. č. 4 – Teplo potřebné k vytápění v jednotlivých měsících

Celková roční spotřeba tepla k přitápění

$$Q_{p, VYT, C} = \sum_1^{12} Q_{p, VYT}$$

8.2

$$Q_{p, VYT, C} = \underline{15,71 \text{ MWh/rok}}$$



Graf č. 3 – Porovnání tepla k vytápění k solárním ziskům

Získaná energie vůči spotřebě tepla k přitápění

$$f_2 = \frac{q_{ss}}{Q_{p, VYT, C}} \cdot 100$$

8.3

$$f_2 = \frac{4,45}{15,71} \cdot 100$$

$$f_2 = \underline{28 \%}$$

8.2 Teplo potřebné k ohřevu TV a přitápění

$$Q_{celk} = q_{tv} + Q_{p, VYT, C}$$

8.4

$$Q_{celk} = 6,35 + 15,71$$

$$Q_{celk} = \underline{22 \text{ MWh/rok}}$$

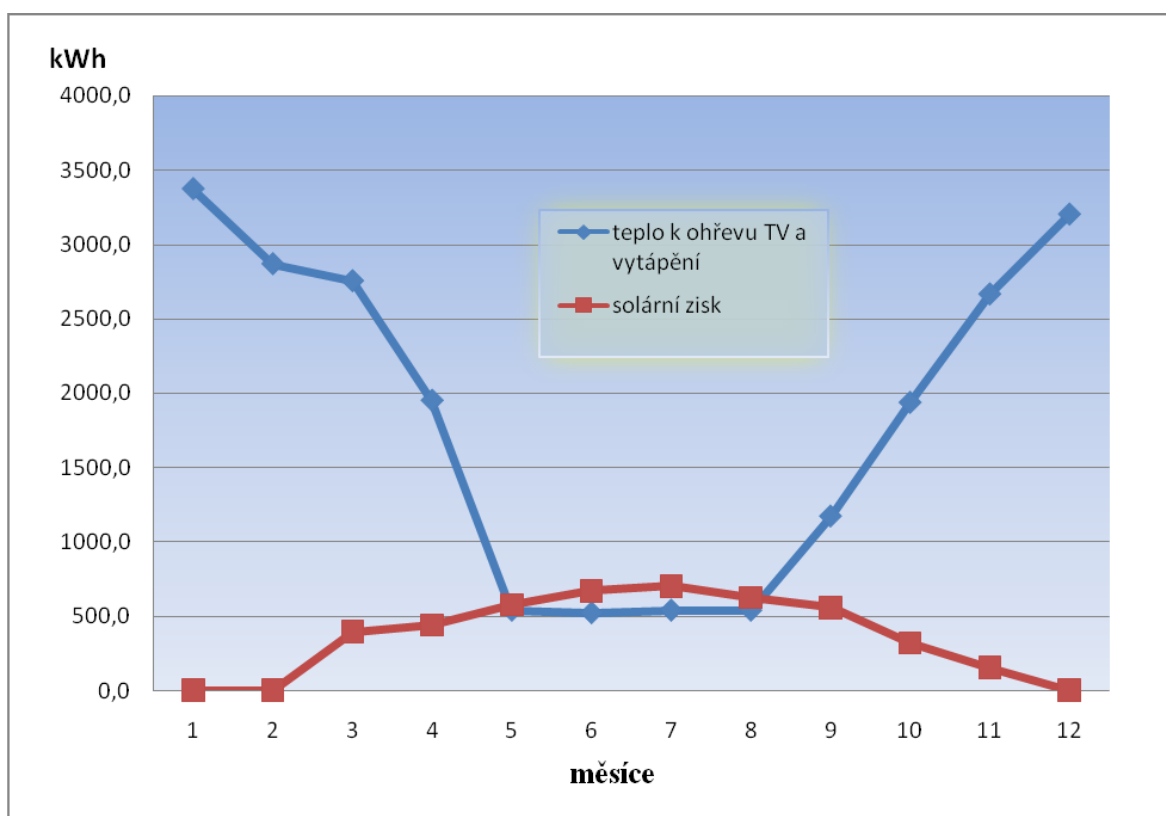
Pokrytí získané energie vůči spotřebě tepla k ohřevu TV a přitápění

$$f_{celk} = \frac{q_{ss}}{Q_{celk}} \cdot 100$$

8.5

$$f_{celk} = \frac{4,45}{22} \cdot 100$$

$$f_{celk} = \underline{20 \%}$$



Graf č. 4 – Teplo k ohřevu TV a vytápění vůči solárním ziskům

9. Návrh solární soustavy

9.1 Typy solárních systémů

V základu se solární systémy dělí podle charakteru oběhu jejich teplotnosného média a to od maximálních průtoků, přes minimální, až po spojení obou typů, a nebo varianty úplného vyprázdnění teplotnosného média ze soustavy.

High-Flow

Je to systém s velkým průtokem teplotnosného média. Podle výzkumů optimálního oběhu byly zjištěny průtoky od 30, až po 70 litrů za hodinu na metr čtverečný plochy kolektoru, pro zajištění optimálních solárních zisků. V důsledku toho dojde ke zvýšení teploty v kolektoru o 8° až 12 °C za maximálního slunečního svitu. K tomu aby dosáhlo teplotnosné médium rozdílu teplot vyšších než 12°C, musí oběhnout systém víckrát. To znamená, že akumulční zásobník se jen pomalu zahřívá, a pro dosažení žádané teploty je potřebná delší doba oběhu. Další nevýhodou je ta, že při přerušovaném svitu se nemusí dosáhnout potřebné teploty vůbec.

Low-Flow

Takto navržené kolektorové soustavy pracují s nízkým průtokem média v soustavě, kde se silně zvýší teplota až o 50°C. Ke zkrácení doby doplňkového ohřevu je potřeba tuhle teplotu převést přímo do horní části zásobníku, aby byla zajištěna co nejrychlejší dodávka vody na požadované úrovni. Proto je zde vhodné nainstalovat zásobník s nabíjením ve vrstvách tzv. stratifikační. U těchto systémů mohou být použity rozvody s menším průměrem. To znamená nejen menší tepelné ztráty v potrubí, ale vede to i k úspoře materiálu a nákladů. Při menších průměrech potrubí je navíc možno použít rychle smontovatelné trubky (integrované do jednoho celku včetně izolace). Průtoky jsou zde 4 až 5 krát menší, což je u velkých solárních ploch zásadní.

Hlavním rozdílem oproti provozu v předchozím systému je v hydraulice a řazení kolektorů, zvláště u středních až velkých soustav. U High-Flow jsou kolektory řazeny převážně paralelně a jen málo do série, u Low-Flow systému je tomu právě opačně. Díky výrazně menšímu průtoku kapaliny, zvláště u velkých kolektorových polí, je menší tlaková ztráta i menší potřebný výkon čerpadla. U těchto podmínek, zejména při velké dopravní výšce, kde narůstá tlaková ztráta, a při velmi malých dopravovaných množstvích, jsou stávající topenářská čerpadla nevhodná, resp. byla by provozována s velmi malou účinností. Proto byla vyvinuta speciální čerpadla pro tento účel. Při dobrém vrstvení tepla v zásobníku jsou oproti High-Flow systému možné o 5 až 20% vyšší solární zisky.

Matched-Flow

Je založený na přizpůsobivém průtoku. Hlavní myšlenkou bylo spojit výhody obou konceptů, a to s Low-Flow technikou docílit dostatečně vysoké teploty a s High-Flow optimalizované výnosy. Protože však Low-Flow a High-Flow vyžadují rozdílné komponenty a konstrukční součásti, je použití tohoto systému velmi obtížné a vyžaduje relativně náročný systém regulační techniky.

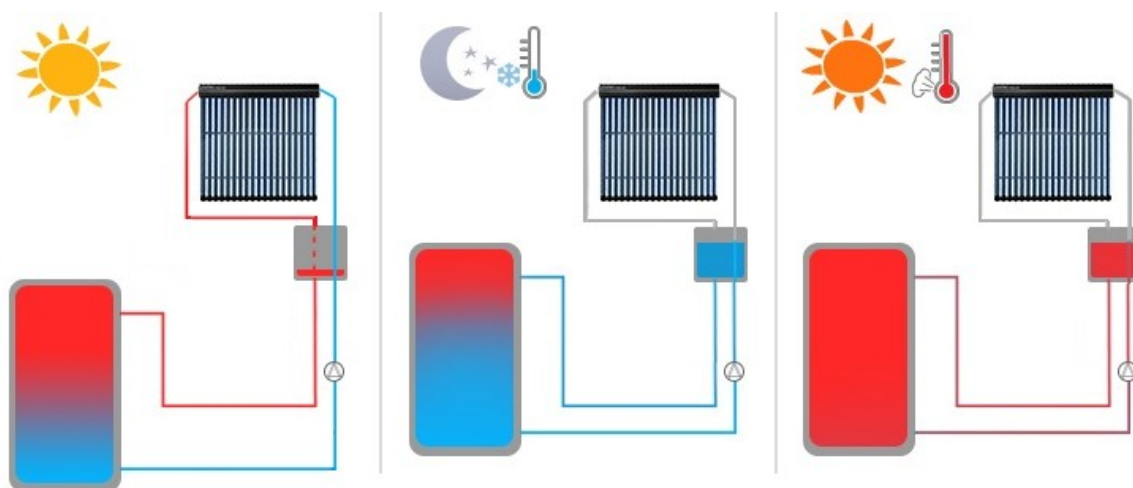
U dosud realizovaných systémů se specifický průtok pohybuje mezi 8 až 40 litrů za hodinu na metr plochy kolektoru. Výrobci, kteří nabízejí zařízení podle této koncepce je zatím málo a s trvalým provozem soustav u uživatelů je rovněž málo ověřených zkušeností.

Drain-Back

Jako teplotonosné médium je u těchto beztlakých solárních systémů použita voda namísto neekologických nemrznoucích směsí, tudíž není potřebná instalace tepelného výměníku pro oddělení okruhů akumulční nádoby a solárního systému. Tímto krokem se zvyšuje nejen účinnost solárního systému, ale navíc se významně zjednodušuje instalace a snižuje náročnost pro životní prostředí. Beztlaký systém je založen na principu čerpání vody z dolní části akumulace do solárních kolektorů pouze tehdy, pokud je na panelech zaznamenaná teplota dostatečně vysoká a pokud je požadavek na ohřev vody v zásobníku.

Pokud se tento stav změní a teplota na kolektorech bude nižší, oběhová čerpadla se zastaví, systém se zavzdušní a cirkulující voda samospádem zteče zpět do záchytné nádrže, ze které je při dalším naběhnutí čerpadla načerpána do kolektorů. Ohřev teplé vody se děje na průtokovém principu, který zabraňuje tvorbě usazenin, nečistot a bakterií jako je *Legionella Pneumophila*, která má při teplotách od 20° do 45°C správné podmínky k množení a ohrožuje zdraví člověka.

Pro montáž je nutné, aby byly rozvody solárního systému namontovány bez sifonů a ve spádu k nádobě. Pokud je akumulční nádoba nabita, tak solární systém zůstává prázdný a nemůže dojít k jeho zamrznutí. Dále je systém velmi bezpečný, protože zamezení varu kapaliny je realizováno prostým vypnutím čerpadla. To samé platí i při jakékoliv poruše čerpadla. Nevýhodou zde může být koroze zapříčiněná přítomností vzduchu v soustavě. Danou nevýhodu je možno snížit použitím vhodnějších materiálů potrubí, např. plastových. Tady je ale nutné na druhou stranu počítat s nižší tepelnou vodivostí zvoleného materiálu, a tudíž i s přizpůsobením dalších parametrů soustavy.



Obr. č. 9 - Schéma funkce systému Drain Back

9.2 Navrhovaný systém

Cíl projektu byl takový, aby vlastní systém včetně solárního kolektoru, akumulčního zásobníku, čerpadla, řídicí jednotky a rozvodů vyšel na co nejmenší náklady, než jakýkoliv komerční systém, který má podobné parametry a aby se také urychlila návratnost investice. K porovnání cen obou variant, jak vlastní, tak komerční, jsem si nechal od firmy vystavit dvě cenové nabídky, jednu s deskovým a druhou s vakuovým kolektorem, viz. příloha č.1 a příloha č.2. Další požadavky byly kladeny na bezpečnost systému s co nejnižší nároky na servis, jednoduchost obsluhy a možnost se co největší měrou podílet vlastními silami na výrobě a sestavení jednotlivých komponentů. Nakonec pak vyšší účinnost soustavy, delší životnost a ekologický dopad na okolní prostředí.

Vlastní navrhovaný systém jsem proto volil s ohledem na tyto požadavky. Jako nejlepší varianta se mi jeví poslední z výše uvedených čtyř typů solárních soustav. Ta je založena na principu Drain-Back, tzn., že oběhové čerpadlo cirkuluje přes kolektor vodu z akumulčního zásobníku. Po vypnutí čerpadla se vrátí voda samospádem zpět do zásobníku, proto nemůže zamrznout. Navíc není cirkulační okruh pod tlakem, proto je bezpečnější. Pro lepší přehlednost zde uvádím některé z výhod.

Výhody:

- nízké nároky na údržbu a těsnost spojů
- v létě se solární systém nepřehřívá, v zimě nezamrzá
- beztlakový systém = bezpečnost
- vyšší účinnost oproti tlakovým systémům
- voda jako teplotnosné médium (ekologická, vyšší měrná tepelná kapacita)
- nedochází k vypařování a degradaci teplotnosného média
- vysoká životnost v desítkách let
- jednoduchá recyklace a likvidace starého systému

9.3 Komponenty soustavy

Kotel

Jedná se o nástěnný plynový kotel s uzavřenou spalovací komorou a nuceným odvodem spalin o tepelném výkonu 7 - 24 kW, určený pro vytápění s průtokovým ohřevem TV a ekvitermní regulací. [11]

Parametry:

- max. příkon 25,6 kW
- max. výkon 24,0 kW
- min. příkon (režim TV) 8,3 kW
- min. příkon (režim topení) 10,5 kW
- min. výkon (režim TV) 7,2 kW
- min. výkon (režim topení) 9,3 kW
- účinnost při 100% výkonu 93,6 %
- spotřeba při max. výkonu 2,71 m³/h
- průtok TV při nepřetržitém odběru 11,5 l/min
- objem expanzní nádoby 6l
- max. provozní tlak v okruhu TV 10 bar



Obr. č. 10 – Závěsný plynový kotel

Akumulační nádrž

Pro 300l s průtočným ohřevem TV. Studená pitná voda natéká do nejspodnější části nádrže a pak protéká vlnovcovým výměníkem z nerez oceli směrem vzhůru. Postupně odebírá energii z akumulační nádrže, ohřívá se a stoupá až do horní části zásobníku, kde teplota dosáhne požadované úrovně.

Díky teplosměnné ploše výměníku je zajištěna příprava dostatečně velkého množství vody pro celou rodinu. Průtoková příprava teplé vody zaručuje uživatelům perfektní hygienické vlastnosti. Voda v zásobníku stagnuje minimální dobu a v minimálním objemu. Nevznikají zde ani žádné usazeniny a není třeba vodu přehřívat, abychom ji ochránili proti Legionelle.

Stratifikační zásobník

V dolní části zůstává voda nejstudenější, blížící se teplotě natékající pitné vody a nahoře nejteplejší, jen o málo vyšší, než je požadovaná teplota teplé vody. Pokud začne klesat teplota vody v akumulaci i v horních vrstvách, pomocí zdroje vytápění ohřejeme vodu v akumulaci. Topná voda v tomto případě protéká výměníkem odshora dolů, tedy v souladu s teplotním rozvrstvením v nádobě a dole se udržuje co nejchladnější. Výměník dohřívá pouze horní dvě třetiny nádrže, spodní část se nechává vždy co nejchladnější pro případné využití solárním systémem „Drain-Back“.

Oběhové čerpadlo

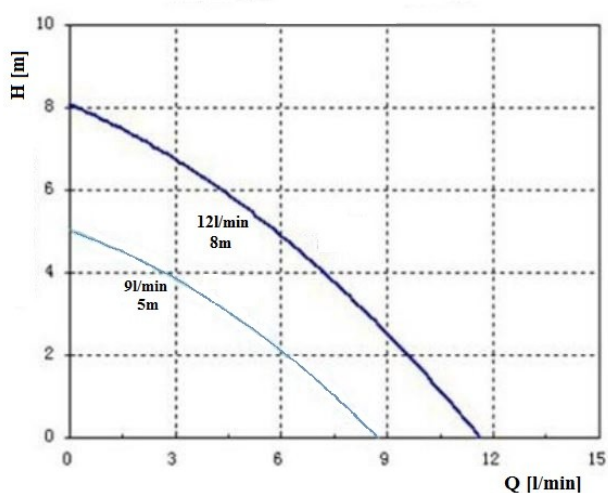
Solární systém Drain Back neklade příliš vysoké nároky na oběhové čerpadlo, tudíž jsou náklady na pořízení v tomto případě nižší než u jiných systémů pro ohřev TV. Hlavními parametry pro výběr jsou výtlak, pracovní rozsah teplot a průtok.

Parametry:

- max. výtlak (dopravní výška) 8 metrů
- pracovní rozsah teplot $0^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$
- max. průtok 720 l/hod
- max. teplota teplotonosného média 100°C
- max. pracovní tlak 10 Bar
- vnější průměr připojení k rozvodům 20,4 mm
- pracovní napětí DC 24V
- hlučnost $\leq 35 \text{ dB}$
- životnost 40 000 hodin



Obr. č. 11 – Oběhové čerpadlo



Graf č.5 – Provozní charakteristika čerpadla

Měření a regulace Steca TR 0301

Tento mikroprocesorem řízený regulátor hlídá a řídí solární zařízení s jedním kolektorovým polem a zásobník. Disponuje grafickým displejem, na kterém jsou vyznačeny hodnoty solárního okruhu a zaručuje jednoduché ovládání přes piktogramy. Vedle řízení solárního zařízení přebírá regulátor také důležité hlídací a bezpečnostní funkce. Parametry zařízení a měřené hodnoty je možno sledovat na poosvětleném grafickém displeji a měnit je. Provozní bezpečnost zařízení je zajištěna propracovanou diagnózou závad. Regulátor poskytuje maximálně tři vstupy pro snímání teplot a jeden výstup pro řízení čerpadla solárního okruhu. Součástí dodávky regulátoru je i čidlo teploty kolektoru a čidlo teploty zásobníku. Další funkce regulátoru jsou omezení teploty zásobníku, ochrana proti zamrznutí, funkce pro čas dovolených popř. funkce zpětného ochlazení. Je možno volit zobrazování teploty v stupních Celsia nebo Fahrenheita [5]

Parametry :

- pracovní napětí 230V, 50Hz
- max. příkon 1W
- teplotní difference pro sepnutí systému 8K (46,4 °F)
- teplotní difference pro vypnutí systému 4K (39,2 °F)
- hmotnost 0,25 kg i s kabeláží
- rozměry 160 × 157 × 47 mm
- prac. rozsah teplot kolektorového senzoru do + 180 °C
- prac. rozsah teplot senzoru zásobníku do + 105 °C
- ochrana proti prostředí IP 20/DIN

40050



Obr. č. 12 – Teplotně diferenční regulátor

9.4 Zhodnocení systému pro přípravu TV

U této varianty činí celkový roční solární zisk 4,45 MWh. Z celého roku je solární systém kvůli svým parametrům aktivní po dobu až devíti měsíců, kromě ledna, února a prosince. To však samozřejmě záleží na počasí a venkovních teplotách. Pokud se teploty v těchto nejchladnějších měsících pohybují nad nulou, je celkový roční zisk ještě vyšší. Za příznivých podmínek je solární pokrytí potřeby teplé vody v nejteplejším období v roce až stoprocentní. Největší přebytky tepla jsou v měsících květen, červen, červenec, srpen, září. Celkové roční solární pokrytí je až 70%.

9.5 Zhodnocení systému pro přípravu TV s přitápěním

Tento otopný systém v případě potřeby začne ohřívat vodu a ta se distribuuje do otopných těles. Ochlazená se pak vrací zpět. Než se ale ochlazená voda vrátí zpět do kotle, proteče výměníkem pro předehřev vody. Pokud je akumulární nádoba vyhřátá sluneční energií do více jak dvou třetin, začne se ohřívat i část uprostřed zásobníku. Díky tomu lze použít sluneční energii i pro přitápění. Voda se totiž předehřeje na zpáteční cestě do kotle a kotel sníží svůj výkon. V některých dnech dokonce může k vytápění postačit jen solární energie a topný zdroj je pouze v záloze. Solární přitápění se využívá pouze tehdy, pokud je sluneční energie dostatek. Přednost má příprava teplé vody. Proto je prostor kolem výměníku pro vytápění vymezen izolací, která sahá asi do dvou třetin velikosti nádoby. V případě, že sluneční energie ohřeje horní dvě třetiny nádoby, pak se začíná vyhřívat i níže umístěný prostor kolem výměníku pro přitápění.

Teplo potřebné k ohřevu TV a k přitápění činí u této varianty 22 MWh ročně. Vůči solárnímu zisku je toto teplo pokryto z 20-ti procent. Aktivními měsíci pro využití získaného tepla jsou březen, duben, květen, září, říjen a listopad.

10. Stanovení environmentálního přínosu

Pro určení emisí vyprodukovaných za rok jsem použil údaje získané z vyhlášky č. 205/2009 Sb., přílohy 2 – Emisní faktory, které jsou uvedeny v tabulce. Kotel je na zemní plyn, jeho max. výkon činí 24,0 kW, účinnost při 100% výkonu je 93,6 %. Výhřevnost zemního plynu je 33,48 MJ/m³. Následně jsem vypočítal množství emisí, které vyprodukuje kotel před a po zavedení solárního systému u obou variant. Vyhláška č.205/2009 Sb. je v této diplomové práci v příloze č.4.

Emisní faktory pro ZP dle vyhlášky 205/2009 Sb. - pro jmen.výkon kotle < 0,2MW						
Emise	TZL	SO ₂	NO _x	CO	organické látky	jednotka
Emisní faktor	20	9,6	1300	320	64	kg/10 ⁶ m ³ spáleného paliva
Emisní faktor	0,00002	0,0000096	0,0013	0,00032	0,000064	kg/m ³ spáleného paliva

Tab.č.5 – Emisní faktory zemního plynu

Množství emisí TZL před zavedením solárního systému - varianta ohřevu TV

$$E_{TV1} = q_{TV} / \eta_K / Q_{iZP} \cdot E_{TZL} \quad 10.1$$

$$E_{TV1} = 22860 / 0,936 / 33,48 \cdot (2 \cdot 10^{-5})$$

$$E_{TV1} = 0,015 \text{ kg/rok} \quad q_{TV} - \text{teplo potřebné pro ohřev TV} \quad [\text{MJ/rok}]$$

$$\eta_K - \text{účinnost kotle na ZP při 100\% výkonu} \quad [-]$$

$$Q_{iZP} - \text{výhřevnost zemního plynu} \quad 33,48 \text{ MJ/m}^3$$

$$E_{TZL} - \text{emisní faktor TZL} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Množství emisí TZL po zavedení solárního systému - varianta ohřevu TV

$$E_{TV2} = (q_{TV} - q_{SS}) / \eta_K / Q_{iZP} \cdot E_{TZL} \quad 10.2$$

$$E_{TV2} = (22860 - 16020) / 0,936 / 33,48 \cdot (2 \cdot 10^{-5})$$

$$E_{TV2} = 0,004 \text{ kg/rok} \quad q_{SS} - \text{teplo získané solární soustavou} \quad [\text{MJ/rok}]$$

Varianta ohřevu TV						
Emise	TZL	SO ₂	NO _x	CO	organické látky	jednotka
Emise před	0,015	0,007	0,948	0,233	0,047	kg/rok
Emise po	0,004	0,002	0,284	0,070	0,014	kg/rok

Tab.č.6 – Celkové emisní faktory – ohřev TV

Množství emisí TZL před zavedením solárního systému - varianta s přitápěním

$$E_{P1} = Q_{CELK} / \eta_{\kappa} / Q_{iZP} \cdot E_{TZL} \quad 10.3$$

$$E_{P1} = 79200 / 0,936 / 33,48 \cdot (2 \cdot 10^{-5})$$

$$E_{P1} = 0,051 \text{ kg/rok}$$

Q_{CELK} - teplo potřebné pro ohřev TV a přitápění [MJ/rok]

Množství emisí TZL po zavedení solárního systému - varianta s přitápěním

$$E_{P2} = (Q_{CELK} - q_{ss}) / \eta_{\kappa} / Q_{iZP} \cdot E_{TZL} \quad 10.4$$

$$E_{P2} = (79200 - 16020) / 0,936 / 33,48 \cdot (2 \cdot 10^{-5})$$

$$E_{P2} = 0,040 \text{ kg/rok}$$

Varianta s přitápěním						
Emise	TZL	SO ₂	NO _x	CO	organické látky	jednotka
Emise před	0,051	0,024	3,285	0,809	0,162	kg/rok
Emise po	0,040	0,019	2,621	0,645	0,129	kg/rok

Tab.č.7 – Celkové emisní faktory – přitápění

11. Ekonomické zhodnocení [14]

Ceny plynu jsou u obou variant rozdílné. Liší se podle množství odebraného tepla za rok udávaného v MWh. Kalkulace je počítána za předchozí rok 2015. Dodavatelem zemního plynu je v tomto případě společnost E.ON. U varianty ohřevu TV spadá cena plynu do pásma (1,89 -7,56 MWh/rok) a činí 1385,96 Kč/MWh. U varianty s přitápěním spadá cena plynu do pásma (15 -25 MWh/rok), která je 1284,05 Kč/MWh. Ceny jsou uvedeny v příloze č.3.

<i>Náklady solární ohřev TV</i>	
Položka	Cena včetně DPH
Kolektor - 4ks	
profil UW 100	2 400 Kč
ventil elektromagnet 24V DC, NO 3ks	3 547 Kč
barva RABSORB 5 3L	1 880 Kč
plech 0,6mm	1 480 Kč
Al plech	2 884 Kč
Cu trubka měkká Ø 15 mm	5 000 Kč
t kus 15mm	144 Kč
redukce,přechody Cu	280 Kč
oblouky 15 mm Cu,přechody	480 Kč
silikon	1 920 Kč
sklo 5 mm	6 000 Kč
spojovací materiál	1 000 Kč
spojovací materiál	1 400 Kč
latě	504 Kč
zinkování nosné konstrukce	400 Kč
izolace vata 5 cm	3 600 Kč
pájka sn97cu3	940 Kč
šroubení a redukce pájecí 15 mm	1 160 Kč
pospojení ochranné	180 Kč
latě	1 560 Kč
spojovací materiál	1 236 Kč
prodlužovací matice M12	396 Kč
Měření a Regulace	
regulace STECA TR 0301	3 300 Kč
Plast. Rozvodnice 24M	675 Kč
Zdroj 230/24DC V,pro čerpadlo	380 Kč
TER3C Uni, +30-+70C	1 567 Kč
Skříňka zdroj 24V, kontrolky, průchodky	249 Kč
Spínací hodiny UNO QRD	1 200 Kč
jistič 4A	100 Kč

kontrolky Elko	340 Kč
Počítadlo provozních hodin	790 Kč
spotřební mat.	170 Kč
PVC trubka 15 m,CYSY 2x1, 30m	300 Kč
ELKO EP relátka	700 Kč
ELKO EP přepínač auto stop ruční	350 Kč
ELKO HRH 5uni hlídač hladiny	574 Kč
Rozvody a ostatní	
Rozvody na střeše	1 522 Kč
Cu na rozvody ,vypouštěcí ventil,mosaz koleno	186 Kč
redukce mosaz zásobník 1"/al pex 20 mm	235 Kč
čerpadlo 24V,výtlač 7m	996 Kč
Bramac nosná taška 12 ks	3 120 Kč
zásobník nádoba	540 Kč
profily na držák nádrže	85 Kč
CSSS 2Dx0,75mm silikonová izolace,30m	851 Kč
šroubení,přechody	459 Kč
Alpex trubka 17m,20mm,Cu 18,5m, přechody,redukce	1 560 Kč
izolace vnitřní	750 Kč
izolace venkovní kaučuk	630 Kč
zásobník 300l 1ks	24 655 Kč
Náklady celkem	82 275 Kč

Tab.č.8 – Přehled nákladů na ohřev TV

Náklady za ohřev TV [14]

$$N_{TV} = q_{tv}.c_{PLYN}$$

11.1

$$N_{TV} = 6,35.1385,96$$

$$N_{TV} = 8800,85 \text{ Kč/rok}$$

c_{PLYN} - cena plynu za 1MWh

Úspora nákladů za ohřev TV

$$U_{TV} = q_{ss}.c_{PLYN}$$

11.2

$$U_{TV} = 4,45.1385,96$$

$$U_{TV} = 6167,52 \text{ Kč/rok}$$

Návratnost investice

$$Na_{TV} = \frac{Cn_{TV}}{U_{TV}}$$

11.3

$$Na_{TV} = \frac{82275}{6167,52}$$

$Na_{TV} = 13$ let

Cn_{TV} - celkové náklady na pořízení [Kč]

<i>Náklady solární ohřev TV s přitápěním</i>	
Položka	Cena včetně DPH
Kolektor - 4ks	
profil UW 100	2 400 Kč
ventil elektromagnet 24V DC, NO 3ks	3 547 Kč
barva RABSORB 5 3L	1 880 Kč
plech 0,6mm	1 480 Kč
Al plech	2 884 Kč
Cu trubka měkká Ø 15 mm	5 000 Kč
t kus 15mm	144 Kč
redukce,přechody Cu	280 Kč
oblouky 15 mm Cu,přechody	480 Kč
silikon	1 920 Kč
sklo 5 mm	6 000 Kč
spojovací materiál	1 000 Kč
latě	1 400 Kč
zinkování nosné konstrukce	504 Kč
izolace vata 5 cm	400 Kč
pájka sn97cu3	3 600 Kč
šroubení a redukce pájecí 15 mm	940 Kč
pospojení ochranné	1 160 Kč
latě	180 Kč
spojovací materiál	1 560 Kč
prodlužovací matice M12	1 236 Kč
Měření a Regulace	396 Kč
regulace STECA TR 0301 2ks	6 600 Kč
Plast. Rozvodnice 24M	675 Kč
Zdroj 230/24DC V,pro čerpadlo	380 Kč
TER3C Uni, +30-+70C	1 567 Kč
Skříňka zdroj 24V, kontrolky, průchodky	249 Kč
Spínací hodiny UNO QRD	1 200 Kč
jistič 4A	100 Kč
kontrolky Elko	340 Kč
Počítadlo provozních hodin	790 Kč
spotřební mat.	170 Kč
PVC trubka 15 m,CYSY 2x1, 30m	300 Kč

ELKO EP relátka	700 Kč
ELKO EP přepínač auto stop ruční	350 Kč
ELKO HRH 5uni hlídač hladiny	574 Kč
Rozvody a ostatní	
Rozvody na střeše	1 522 Kč
Cu na rozvody ,vypouštěcí ventil,mosaz koleno	186 Kč
redukce mosaz zásobník 1"/al pex 20 mm	235 Kč
čerpadlo 24V,výtlak 7m	996 Kč
Bramac nosná taška 4 ks	1 040 Kč
zásobník nádoba	540 Kč
profily na držák nádrže	85 Kč
CSSS 2Dx0,75mm silikonová izolace,30m	851 Kč
šroubení,přechody	153 Kč
Alpex tubka 17m,20mm,Cu 18,5m, přechody,redukce	1 560 Kč
izolace vnitřní	250 Kč
izolace venkovní kaučuk	210 Kč
Zásobník na vodu 300L 2 ks	49 310 Kč
Náklady celkem	109 324 Kč

Tab.č.9 – Přehled nákladů na ohřev TV s přitápěním

Náklady za ohřev TV s přitápěním [14]

$$N_{TVS} = Q_{celk} \cdot C_{PLYN2} \quad 11.4$$

$$N_{TVS} = 22.1284,05$$

$$N_{TVS} = 28\,249,1 \text{ Kč/rok} \quad C_{PLYN2} - \text{cena plynu za } 1MWh$$

Úspora nákladů za ohřev TV s přitápěním

$$U_{TVS} = q_{ss} \cdot C_{PLYN2} \quad 11.5$$

$$U_{TVS} = 4,45.1284,05$$

$$U_{TV} = 5714 \text{ Kč/rok}$$

Návratnost investice

$$Na_{TVS} = \frac{Cn_{TVS}}{U_{TVS}} \quad 11.6$$

$$Na_{TVS} = \frac{109324}{5714}$$

$$Na_{TV} = 19 \text{ let} \quad Cn_{TVS} - \text{celkové náklady na pořízení [kč]}$$

12. Výběr zvolené varianty

U varianty s přitápěním by se musel přikoupit ještě jeden 300 litrový zásobník na vodu, tím by vzrostly náklady o dalších 24 655 Kč a současně by se prodloužila doba návratnosti o 6 let. Přikláním se tedy k variantě s ohřevem TV, jelikož doba návratnosti činí orientačně 13 let a jsou zde celkově nižší náklady na pořízení.

13. Závěr

V diplomové práci se zabývám návrhem solární soustavy typu Drain-Back a návrhem solárního kolektoru, který slouží k ohřevu TV pro rodinný dům s pětičlennou domácností. Solární kolektor je podle tohoto návrhu následně sestaven a napojen na soustavu v množství čtyř kusů. Tato soustava je schopna fungovat v závislosti na okolní teplotě od března do listopadu. Přebytky tepla by bylo možné v budoucnu využít třeba na ohřev bazénové vody v letních měsících.

Cílem projektu bylo ušetřit na nákladech za ohřev TV a zároveň přispět nižšími emisemi ke zlepšování životního prostředí. Porovnával jsem dvě varianty, ze kterých mi jako nejvhodnější vyšla varianta s ohřevem TV bez přitápění, a to na základě vložených investic a době návratnosti.

Vypočítané hodnoty úspor a doba návratnosti z diplomové práce se přibližují reálným hodnotám v dané domácnosti.

Použité zdroje

- [1] <http://www.tzb-info.cz>
- [2] <http://www.neosolar.cz>
- [3] <http://www.topeni-topenari.eu>
- [4] MATUŠKA, Tomáš. *Solární tepelné soustavy 1, sešit projektanta – pracovní podklady*. Praha: STP, 2009. 194 s., ISBN 978-80-02-02186-5.
- [5] <http://www.ohrej.se>
- [6] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina, 1994. 103 s., ISBN 80-900759-5-9.
- [7] KAMINSKÝ, Jaroslav., VRTEK Mojmir. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998, 102 s, ISBN 80-7078-445-8.
- [8] <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [9] <http://www.vytapeni.cz/kalkulacky/tepelne-zraty>
- [10] <http://www.mapy.cz>
- [11] <http://www.solargis.info>
- [12] <http://www.immergas.cz>
- [13] Návod do cvičení z termomechaniky: Ing. Zdeněk Kadlec, Ph.D., 2001
- [14] <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/13-prehled-cen-zemniho-plynu>

Přílohy

- Příloha č.1 Cenová nabídka – deskový kolektor
- Příloha č.2 Cenová nabídka – vakuový kolektor
- Příloha č.3 Ceny zemního plynu
- Příloha č.4 Vyhláška č.205/2009 Sb.
- Příloha č.5 Fotodokumentace

Výkresová dokumentace

- Výkres č.1 Koncepční návrh systému
- Výkres č.2 Konstrukční návrh kolektoru

Seznam tabulek

- Tab.č.1 Denní spotřeba TV
- Tab.č.2 Měsíční spotřeba TV
- Tab.č.3 Energetické zisky solární soustavy během roku
- Tab.č.4 Teplo potřebné k vytápění v jednotlivých měsících
- Tab.č.5 Emisní faktory zemního plynu
- Tab.č.6 Celkové emisní faktory – ohřev TV
- Tab.č.7 Celkové emisní faktory – přitápění
- Tab.č.8 Přehled nákladů na ohřev TV
- Tab.č.9 Přehled nákladů na ohřev TV s přitápěním

Seznam obrázků

Obr.č.1	Přehled globálního horizontálního záření v ČR
Obr.č.2	Teplovzdušný kolektor
Obr.č.3	Plochý deskový kolektor
Obr.č.4	Trubicový kolektor
Obr.č.5	Složený parabolický reflektor (CPC)
Obr.č.6	Fresnelova čočka
Obr.č.7	Plastové absorbéry
Obr.č.8	Lokalizace objektu
Obr.č.9	Schéma funkce systému Drain Back
Obr.č.10	Závěsný plynový kotel
Obr.č.11	Oběhové čerpadlo
Obr.č.12	Teplotně diferenční regulátor

Seznam grafů

Graf č.1	Křivka účinnosti solárního kolektoru
Graf č.2	Solární pokrytí spotřeby TV
Graf č.3	Porovnání tepla k vytápění k solárním ziskům
Graf č.4	Teplo k ohřevu TV a vytápění vůči solárním ziskům
Graf č.5	Provozní charakteristika čerpadla

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Mojžíru Vrtkovi Ph.D. za odborné rady a připomínky a panu Romanu Coufalovi, za poskytnutí veškerých podkladů, praktických zkušeností a know-how, které výraznou měrou přispěly k vypracování této diplomové práce.